

MH

中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T XXXX—XXXX

机场容量评估技术规范

Technical specification for airport capacity assessment

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国民用航空局 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 评估工作程序	2
5 数据采集要求	2
5.1 一般要求	2
5.2 数据采集内容要求	2
6 评估技术方法	4
6.1 一般要求	5
6.2 基于历史统计数据的评估方法	5
6.3 基于数学计算模型的评估方法	5
6.4 基于计算机仿真模型的评估方法	5
6.5 基于管制员工作负荷的评估方法	8
7 输出内容要求	9
7.1 基于历史统计数据的评估方法的输出内容要求	9
7.2 基于数学计算模型评估方法的输出内容要求	9
7.3 基于计算机仿真模型评估方法的输出内容要求	10
7.4 基于管制员工作负荷评估方法的输出内容要求	10
7.5 机场容量的确定要求	10
8 评估报告规范	10
9 机场群容量评估要求	10
9.1 概述	10
9.2 评估范围	10
9.3 机场群仿真航班量确定	10
9.4 机场群容量的确定	10
附录 A (规范性) 跑道容量数学模型	12
A.1 跑道容量基本计算公式	12
A.2 单跑道容量计算	12
A.3 双跑道容量计算	14
A.4 三跑道容量计算	16
附录 B (规范性) 航站楼容量评估数学模型	17
B.1 值机理论容量评估方法及模型	17
B.2 安检理论容量评估方法及模型	17
B.3 行李提取转盘理论容量评估方法及模型	18
附录 C (规范性) 航站楼计算机仿真评估	19

C.1	确定航站楼仿真场景.....	19
C.2	确定仿真系统输入.....	19
C.3	航站楼旅客流程仿真建模.....	19
C.4	仿真系统校验.....	20
C.5	仿真的实施与分析.....	20
C.6	仿真系统调压分析.....	21
C.7	仿真结果与建议.....	21
	参考文献.....	22

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国民用航空局空管行业管理办公室提出。

本文件由中国民航科学技术研究院归口。

本文件起草单位：中国民航科学技术研究院、中国民航大学、南京航空航天大学

本文件主要起草人：邹国良、侯佳、周雅琴、张旭婧、周娟、董震岭、马文博、赵征、高伟、彭瑛、赵志刚、苑天佑、李娜。

机场容量评估技术规范

1 范围

本文件规定了航班时刻协调机场容量评估技术方法、评估要求和评估技术过程。

本文件适用于以航班时刻管理及机场容量调整为目的的航班时刻协调机场容量评估。评估范围包括终端区/进近管制区和塔台管制区所包含的空域范围、机场活动区和航站楼。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

MH/T 5104 民用运输机场服务质量

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

跑道容量 runway capacity

在连续服务请求且不违反空管运行规则的情况下，机场跑道单位时间内能够服务的最大起降架次数。

3.2

仿真延误时间 simulation delay time

仿真系统输出的由于运行冲突、交通拥堵等造成的航班延误。

注：仿真延误时间应包括仿真系统输出的跑道等待延误时间、滑行道延误时间、停机位延误时间以及空中延误时间等。

3.3

管制员工作负荷 controller workload

管制员指挥航空器耗费的工作时长。

3.4

放行正常率 normal clearance rate

机场放行正常班次占机场放行总班次的百分比。

注：每一个航班离港起飞为一个放行班次，机场放行统计以放行班次为统计单位。

3.5

可接受延误水平 acceptable level of delay

在一定的服务标准和运行规则下，可接受的航班仿真延误时间。

3.6

机场容量 airport capacity

根据航空器性能、机场和空管运行规则、限制因素以及可接受延误水平(3.5)、可接受管制员工作负荷水平，确定的机场单位时间计划起降架次。

3.7

典型繁忙日 typical busy day

统计三个月（含）以上历史执行的日航班量，从小到大排序，取95%~90%分位数中的对应日。

3.8

航站楼理论容量 terminal theoretical capacity

针对航站楼及航站楼内关键设施设备资源，通过建模计算，得出的单位时间内航站楼可服务的进离场航班架次。

4 评估工作程序

机场容量评估工作程序应按以下步骤进行。

- a) 确定评估方案。评估机构应结合机场实际运行情况和容量评估工作需求，确定评估方案，至少包括项目背景目的、评估内容、评估方法、项目工作计划、评估范围和评估技术路线。
- b) 数据采集分析。评估机构应按照第5章数据采集要求完成数据采集和分析工作。
- c) 建立评估模型。评估机构应根据基于历史统计数据的评估方法、基于数学计算模型的评估方法、基于计算机仿真模型的评估方法和基于管制员工作负荷的评估方法，结合实际运行情况，分别建立评估模型。
- d) 开展评估工作。评估机构应按照6.2至6.5规定的要求，分别使用四种评估方法开展评估工作。
- e) 确定机场容量。综合步骤d)所得的评估结果，确定机场容量。

5 数据采集要求

5.1 一般要求

采集的数据应能够反映评估对象在未来半年内运行环境下的状况，详细程度应能够全面反映评估对象的基本特征和运行规律。数据采集内容具体要求见5.2。

5.2 数据采集内容要求

- 5.2.1 数据采集内容应至少包括空中交通管制数据、机场基础设施及运行数据、飞行计划数据。
- 5.2.2 机场容量评估关键参数及参数标准应符合表1和表2要求。
- 5.2.3 机场活动区/空域容量评估数据需求及确认应符合表3和表4要求。
- 5.2.4 空管部门和机场部门提供相应数据后，应分别在表3和表4上进行签字确认。

表1 容量评估关键参数及参数标准表

关键参数名称	定义	参考标准或获取方法
管制员平均工作负荷	熟练管制员完成单位小时内空中交通管制指挥活动所需要的听说、思考、操作的时间长度	累加管制员通信时间、非通信时间和总思考时间之和，我国暂定管制员平均工作负荷不超过单位时间70%（如1小时不超过42分钟）
高峰时段管制员工作负荷	熟练管制员完成高峰时段内空中交通管制指挥活动所需要的听说、思考、操作的时间长度	累加管制员通信时间、非通信时间和思考时间之和，超过单位时间片90%（如5分钟超过270秒）的工作时长不超过采样总时间的2.5%（如12小时不超过18分钟）
雷达间隔标准	所有被雷达识别的航空器之间应配备的间隔	依据《民用航空空中交通管理规则》中雷达间隔标准或当地使用的调配间隔参数
尾流间隔标准	为避免尾流影响而规定的航空器之间应配备的间隔	依据《民用航空空中交通管理规则》中航空器尾流间隔标准的要求，或当地使用的调配间隔参数
跑道占用时间	航空器占用跑道，包括航空器起飞和着陆占用地面保护区的总时间	空管单位提供统计数据，如没有统计数据，则由评估单位现场采集
轻型/中型/重型机比例	按照航空器最大允许起飞全重和尾流影响确定的分类标准下的不同机型比例	机场提供统计数据，如没有统计数据，则由评估单位根据获取的航班计划数据统计
连续进近间隔	连续进近的两架航空器在前机飞越跑道入口时后机距离跑道的最短距离	空管单位根据管制工作实际执行标准提供，如：塔台与进近协议，或塔台运行手册
离场航空器放行间隔	连续起飞的两架航空器前、后机发出起飞许可的最短间隔时间	空管单位根据管制工作实际执行标准提供
移交间隔	管制扇区之间，同一移交点，使用指定高度移交航空器管制责任时，后机与前机之间须满足的最短水平距离	以管制移交协议为准
起降控制间隔	对已经进入跑道并完成对正的离场航空器发布起飞许可时，五边降落航空器距离跑道入口的最短距离	空管单位根据管制工作实际执行标准提供

表1 容量评估关键参数及参数标准表（续）

关键参数名称	定义	参考标准或获取方法
停机位分配规则	机场机位分配规则，包括公司分配规则、国内国际停放规则等	根据机场停机位实际使用情况确定，由机场单位提供
机型比例	机场重、中、轻三种机型的平均比例	根据采集的历史飞行计划表中机型数据统计
跑道使用方案	跑道的主用方向和跑道运行模式等	空管单位根据实际运行情况提供
跑道端最大等待架次	允许在跑道端排队等待起飞的航空器最大数量	空管单位根据管制工作实际执行标准提供
离场航班最大等待时间	当离场航班等待时间超过最大等待时间后，将获得离场优先权	根据机场运行实际确定，若无法提高，一般设为15分钟
管制员通信工作时间	典型繁忙日，单位时间内，管制员和飞行员语音通话时长	优先通过管制录音统计，模拟机统计为备份方法
管制员非通信工作时间	典型繁忙日，单位时间内，管制员填写飞行进程单、雷达屏幕操作、管制协调所需时长	通过管制现场统计采集
管制员思考工作时间	典型繁忙日，扇区内各航段单架航空器平均指令数、不同繁忙等级时航段单条指令平均思考时间	通过问卷调查统计方式，结合经验累积确定
历史放行正常率	机场的各月放行正常率，至少提供一年的历史统计数据	机场根据历史数据统计提供

表2 航站楼理论容量评估参数（时间标准）

流程	类别	国内	国际
安检	I类机场经济舱	95%旅客≤12分钟	95%旅客≤10分钟
	II类机场经济舱	95%旅客≤10分钟	95%旅客≤8分钟
	III类机场经济舱	95%旅客≤8分钟	95%旅客≤6分钟
	IV类机场经济舱	95%旅客≤6分钟	95%旅客≤5分钟
国内航班旅客办票等候时间	头等舱和公务舱	95%旅客≤5分钟	95%旅客≤4分钟
	I类机场经济舱	95%旅客≤14分钟	95%旅客≤12分钟
	II类机场经济舱	95%旅客≤12分钟	95%旅客≤10分钟
	III类机场经济舱	95%旅客≤10分钟	95%旅客≤8分钟
	IV类机场经济舱	95%旅客≤8分钟	95%旅客≤8分钟
联检	海关	95%旅客≤10分钟	
	边防	95%旅客≤15分钟	
	检验检疫a	95%旅客≤5分钟	

表3 空管部门提供及确认参数

序号	数据名称	说明	确认签字
1	航行资料汇编	空管保障设施、空域划分、飞行程序	
2	历史飞行计划表	冬春、夏秋季已执行的飞行计划，内容包括：航班号、注册号、机型，计划起降时间、实际起降时间、实际撤、挡轮挡时间	
3	与相邻管制部门的移交协议	进近与塔台、进近与区管、塔台与地面运控中心等	
4	扇区移交协议	如果分扇运行，机场内扇区移交协议	
5	关键点飞行速度和高度	飞行程序上航路点的速度和高度	
6	跑道运行模式及各跑道业务量分担比例	多跑道机场常用的跑道运行模式，及不同评估场景下的跑道业务量分担比例	
7	各机型的跑道占用时间	包括各型航空器在跑道道面运行的平均占用时间，分起飞和落地	
8	飞行管制一号规定	航班与进出口点和航线对应的列表	
9	飞越航班对本场运行影响	含飞越航班占机场各进出口点的流量比例	
10	实时流量管理运行情况通报表	机场受外围流控时间段，流控策略，流控天数等	
11	历史（机场）放行正常率	上报民航局的机场历史放行正常率	
12	通用航空主要活动规律	包括各通用航空活动的频率，影响的航线、高度等	
13	周边军民机场的分布	与本场的距离及方位	

表3 空管部门提供及确认参数（续）

序号	数据名称	说明	确认签字
14	其他空域用户主要活动规律	包括各其他空域用户活动的频率，年活动天数，每天活动小时数及分布，分航季（冬春、夏秋）说明	
15	其他空域用户活动对民航指挥（本场管制）的影响	其他空域用户活动对本场航线、高度的影响以及产生冲突的航段及规避冲突的方法	
16	现行管制调配间隔	本场规定的进近管制间隔包括五边间隔规定、前离后进航空器间隔规定、交叉和对头穿越间隔规定等	
17	气象条件	常态出现的低云、低能见度等不利于飞行的气象条件	
18	设备性能	通信、导航、监视设备性能	
19	滑行路径	不同评估场景下的航空器在场面滑行的滑行路径	
20	地面滑行速度	航空器在机场场面的滑行速度	
21	停机坪运行限制	包括航空器在机坪运行时的推出、滑行以及等待等相关要求	
22	放行限制	机场是否具备相关放行限制（例如同航线航空器放飞时间间隔等）	
23	管制录音	最近1个月管制员通话录音，每个需评估席位按每天24小时分别给出录音数据，以及该时段内扇区架次	
24	其他特殊情况		

表4 机场部门提供及确认参数

序号	数据名称	说明	确认签字
1	班期时刻表	冬春、夏秋季的班期时刻表	
2	历史飞行计划表	冬春、夏秋季已执行的飞行计划，内容包括：航班号、注册号、机型，计划起降时间、实际起降时间、实际撤、挡轮挡时间、登机门、行李转盘号、航班旅客数、可用座位数	
3	历史小时放行正常率	与历史飞行计划表提供时段对应的小时放行正常率	
4	机场总平面图	机场总平面的电子版CAD图，要求有详细的滑行道、停机位和跑道描述	
5	停机位可停放机型	每个停机位可停放的机型限制	
6	停机位的分配规则	航空公司使用停机位的区域要求	
7	备降机位数量	备降航班使用的停机位数量	
8	航空器平均过站时间	各型航班的平均过站时间	
9	驻场航空公司机队情况	驻场航空公司机队数量、机型、过夜起飞数量	
10	其他特殊情况	包括除冰位、过夜机位、临时机位等使用条件	
11	航站楼CAD平面图（电子版）	包括出发和到达层、国内与国际客运	
12	国内离场旅客量	日国内离场旅客量	
13	国内抵港旅客量	日国内抵港旅客量	
14	国际离场旅客量	日国际离场旅客量	
15	国际抵港旅客吞吐量	日国际抵港旅客量	
16	值机柜台数量	人工值机柜台数量、自助值机数量	
17	值机柜台分配	各航空公司或代理商值机柜台分配原则	
18	柜台开放时间	各航班或航空公司对应的值机柜台开放的数量及时间	
19	平均单位办票时间	国内、国际旅客平均人工值机时间	
20	值机比例	人工、自助值机柜台以及网上值机旅客比例	
21	国内安检通道属性及数量	国内安检通道数量、属性、普通通道数量	
22	安检通行能力	国内、国际平均安检时间	
23	行李转盘	转盘数量和指派原则	
24	旅客申领行李比例	航班到达后，该航班上提取行李的旅客数量	
25	旅客申领行李时间	国内、国际航班旅客申领行李平均用时；旅客到达行李转盘平均用时；航班落地开舱到第一件行李到达转盘平均时间（分国际、国内）	

6 评估技术方法

6.1 一般要求

容量评估方法应包含基于历史统计数据的评估方法、基于数学计算模型的评估方法、基于计算机仿真模型的评估方法和基于管制员工作负荷的评估方法。

在进行机场容量评估时，各评估方法的使用应分别符合6.2至6.5规定要求。

6.2 基于历史统计数据的评估方法

6.2.1 概述

基于历史统计数据的评估方法，是依据机场单位时间（通常为1小时）内起降架次的历史数据评估机场历史运行高峰服务能力的方法。该方法通过反映起飞架次和降落架次相互作用的关系，得到机场历史高峰服务架次。该方法适用于运行环境相对稳定且具有三个月（含）以上历史数据的繁忙机场。

6.2.2 评估流程

基于历史统计数据的评估方法的评估流程，应按照下列要求进行。

- a) 选择样本统计时长。根据容量评估及航班时刻制定需要，应至少选取单位时间为1小时作为样本统计时长。
- b) 形成散点图。结合样本数据统计，绘制形成散点图。
- c) 包络样本数据。历史高峰服务架次包络线所包络的数据点在全样本数据中占比应在95%~98%。
- d) 确定历史高峰服务架次。根据历史高峰服务架次包络线，确定其所包含的最大值样本点，得到历史高峰服务架次。

6.3 基于数学计算模型的评估方法

6.3.1 概述

基于数学计算模型的评估方法，是根据跑道运行或航站楼运行等因素，建立反映跑道或航站楼运行特征的数学模型，通过计算得到跑道容量或航站楼理论容量的方法。该方法目前主要适用于跑道容量、航站楼理论容量的评估。

6.3.2 评估流程

基于数学计算模型的评估方法的评估流程，分为处理数据、建立模型、检验模型、计算理论容量四个环节。

- a) 处理数据。应将采集来的数据分类统计，转换为模型所需的输入参数。
- b) 建立模型。根据评估对象特征，对评估场景进行必要简化和假设，通过排队论、随机服务理论等，建立对象的时间队列模型，其中，跑道容量的数学模型应按照附录A的要求建立，航站楼内关键设施设备的数学模型应按照附录B的要求建立。
- c) 检验模型。模型建立后，结合模型和参数，检验模型的合理性和适用性。
- d) 计算理论容量。基于模型和参数，分析计算单位时间内的跑道容量或航站楼理论容量。

6.4 基于计算机仿真模型的评估方法

6.4.1 概述

基于计算机仿真模型的评估方法，是基于评估对象的结构和整体运行过程进行计算机仿真模拟来评估容量的方法。该方法反映了影响容量的各种因素之间的相互作用关系，直观且便于校核，适用于绝大多数评估对象的容量评估。

基于计算机仿真模型的评估，包括终端区/进近管制区和塔台管制区所包含的空域范围、机场活动区的计算机仿真评估，和航站楼范围内的计算机仿真评估。其中，终端区/进近管制区、塔台管制区和机场活动区范围应开展计算机仿真评估，如评估结果达到航站楼理论容量的90%及以上时，还应开展航站楼仿真评估。航站楼仿真评估以被评估机场航站楼内旅客服务全流程为对象，进行旅客流态的仿真与分析，具体应按照附录C要求开展。

6.4.2 仿真工具要求

基于计算机仿真模型的评估方法，应采用满足如下要求的计算机仿真工具。

- a) 应能够反映终端区/进近管制区和塔台管制区所包含的空域范围及机场活动区范围内航空器全流程运行特征。
- b) 应能涵盖各机型分类中典型机型的飞机性能。
- c) 应具有针对管制引导和流量管理及跑道和空域等重要运行资源使用策略和环境参数的输入界面。
- d) 应具有符合 6.4.3.8 要求且能实现各类仿真结果统计计算的详尽运行数据。
- e) 应具备随机事件仿真的功能。

6.4.3 评估流程

6.4.3.1 总体评估流程

以被评估终端区/进近管制区、塔台管制区和机场活动区的航班运行全过程为对象的计算机仿真模型的评估方法，总体评估流程分为确定评估场景、确定仿真输入数据、建立基准运行场景模型、校验模型、建立特定运行场景模型、实施仿真、分析仿真结果及确定计算机仿真评估机场容量结果共8个环节。各环节具体评估应符合6.4.3.2至6.4.3.9规定要求。

6.4.3.2 确定评估场景

依据机场容量评估的基本条件，结合历史运行数据的分析确定机场容量评估的评估场景，评估场景分为基准运行场景和特定运行场景。

注1：基准运行场景为在现有机场活动区和终端区/进近管制区、塔台管制区空域条件下，根据基本运行规则，建立的不同跑道运行方向运行场景，基准运行场景的建立可为仿真模型的检验提供支撑。

注2：特定运行场景为在基准运行场景基础上，根据实际运行环境，增加限制约束条件生成的运行场景。限制约束条件至少应包括其他空域用户活动限制条件，其他限制约束条件可包括：飞越航班、关键点流量限制、特殊气象条件等，以及未来半年内机场活动区或空域的结构、运行规则变更。

6.4.3.3 确定仿真输入数据

根据评估场景，确定计算机仿真所需输入数据，具体输入数据应至少包括表5所列数据。

表5 计算机仿真输入数据

输入数据	数据说明
机场活动区平面图	机场总平面电子图，要求有详细的滑行道、停机位和跑道描述
相关航空公司	航班计划中涉及的所有航空公司
航空器类型	航班计划中涉及的所有航空器类型
跑道运行模式	按常用的跑道运行模式设置
机位分配规则（含备降机位）	每个停机位可停放的机型限制及航空公司使用停机位的区域要求，含备降航班使用的停机位数量
航空器滑行路径、速度	不同评估场景下的航空器在场面滑行的滑行路径和滑行速度
管制扇区	终端/进近管制扇区划设水平范围和高度范围
进离场程序	批复的进离场飞行程序
管制间隔	规定的进离场管制间隔标准
放行限制	机场是否具备相关放行限制（例如同航线航空器放行时间间隔等）
移交协议	进近与塔台、进近与区管、塔台与机坪管制单位等，如果分扇运行，还包括机场内扇区移交协议
典型繁忙日航班计划	根据典型繁忙日确定方法确定的日期对应的航班计划

6.4.3.4 建立基准运行场景模型

6.4.3.4.1 建立机场活动区仿真模型

机场活动区仿真模型构建，应包含跑道、滑行道、停机位等在内的机场活动区静态模型构建以及对对象属性指标构建。

同时，模型构建应在机场活动区静态模型的基础上，建立机场活动区运行规则，包括跑道相关规则（跑道运行模式、跑道业务量分担比例、跑道入口出口使用规则、跑道端最大等待架次等）、滑行道使

用规则（不同跑道运行方向滑行路线与滑行规则、滑行道使用限制、地面滑行速度等）、停机位使用规则（停机位分配规则等）以及其他地面运行规则。

6.4.3.4.2 建立空域终端区/进近管制区仿真模型

空域终端区/进近管制区仿真模型构建，应包括构建航路点、班机走向、终端区/进近管制区管制扇区、进离场飞行程序、空中等待区域、进近机动区等在内的终端区/进近管制区静态模型。

同时，在终端区/进近管制区静态模型的基础上，建立空域运行规则，包括进近管制区移交规则、雷达间隔标准、高度层使用设置、飞行程序使用策略、流量分配规则等。

6.4.3.4.3 设置其他关键参数

根据第5章获取的参数情况，设置间隔参数（包括离场航空器放行间隔、连续进近间隔、起降控制间隔、多跑道使用间隔等）以及其他运行规则。

6.4.3.4.4 导入航班计划

导入典型繁忙日全天航班计划，至少应包括航班号、机号、机型、计划起飞/降落时间、航班计划起飞/降落机场等信息。

6.4.3.4.5 调试模型

通过上述基准运行场景建模及调试，确保基准运行场景模型可以完成全天航班仿真运行。

6.4.3.5 校验模型

模型校验应由空管、机场、评估机构等相关部门对基准运行场景模型合理性进行校核验证。校验的内容应包括输入数据、输出结果及可视化界面观察。具体校验内容应满足如下要求。

- a) 输入数据。校验内容应与表 5 一致。
- b) 输出结果。校验内容应包括典型繁忙日航班仿真流时段分布及进离场走向分布。
- c) 可视化界面观察。观察基准运行场景模型中航空器在机场活动区和终端区/进近管制区范围内的运行轨迹、运行状态及规则参数等。

上述校验内容应经机场、空管及评估机构三方共同认可。

6.4.3.6 建立特定运行场景模型

在已完成校验的基准运行场景模型的基础上，根据特定运行场景特点，调整静态模型、运行规则或其他关键参数设置，经过模型运行调试，形成特定运行场景仿真模型。

6.4.3.7 实施仿真

仿真实施应基于基准运行场景模型和特定运行场景，按照现有航班时刻的交通流时空分布，调整（增加或减少）航班量，输出不同评估场景下，每次航班量调整对应的机场航班流量分布、仿真延误时间、放行正常率等仿真数据。

注：每次输出数据为该航班量仿真11次后，按延误航班的平均延误顺序排列的第6名仿真结果，即输出序列中位数。

6.4.3.8 分析仿真结果

6.4.3.8.1 增量（或减量）航班计划分布

依据典型繁忙日航班计划，对航班计划进行调整（增加或减少）处理，得到全天各个时段进离场航班计划架次分布。

6.4.3.8.2 航班流量分布

通过开展各评估场景的调整航班量的仿真模拟，输出全天各个时段仿真进离场航班流量分布。

6.4.3.8.3 仿真延误时间

以机场典型繁忙日增量（或减量）的航班计划为对象，对已建好的模型进行仿真，在保证模型通畅无堵塞的情况下，得出典型繁忙日流量分布，从而得出全天各个时段进离场航班仿真延误时间。

6.4.3.8.4 滑行时间

以某机场典型繁忙日的航班实际运行时刻为对象，对已建好的模型进行仿真，在保证模型通畅无堵塞的情况下，得出全天各个时段进离场航班的平均滑入和滑出时间。

6.4.3.8.5 机场全天放行正常率统计

基于各评估场景仿真情况输出并统计各评估场景的全天放行正常率。

6.4.3.8.6 确定各场景的仿真容量

通过仿真数据分析，输出各评估场景满足“可接受延误水平”的计算机仿真容量结果，包括小时最大起降架次、小时最大起飞架次、小时最大降落架次、15分钟最大起降架次、15分钟最大起飞架次、15分钟最大降落架次。其中：

- 小时最大起降架次取仿真输入航班计划中高峰时段（不小于3个时段）的小时航班量平均值；
- 小时最大起飞架次取仿真小时时段航班计划起飞航班量的最大值；
- 小时最大降落架次取仿真小时时段航班计划进场航班量的最大值；
- 15分钟最大起降架次取仿真15分钟时段航班计划起降航班量的最大值；
- 15分钟最大起飞架次取仿真15分钟时段航班计划起飞航班量的最大值；
- 15分钟最大降落架次取仿真15分钟时段航班计划降落航班量的最大值。

注：可接受延误水平阈值为：航班全天平均延误不超过8分钟，且航班每小时平均延误不超过15分钟。

6.4.3.9 确定计算机仿真评估机场容量结果

根据各评估场景（包括不同跑道运行方向、是否有其他空域用户活动影响等场景）所占比例，将各场景输出的小时最大起降架次，加权得到计算机仿真评估小时最大起降架次。

$$C_a = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} P_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

C_a ——小时最大起降架次；

C_{ij} ——运行方向为*i*其他空域用户活动情况*j*场景的容量值；

P_{ij} ——运行方向为*i*其他空域用户活动情况*j*场景所占比例。

注1：不同跑道运行方向比例根据全年运行情况确定。

注2：其他空域用户活动情况比例考虑其他空域用户全年常态化活动影响时长占比，计算方法见示例。

注3：小时最大起降架次进行加权计算时，可根据机场评估实际情况酌情考虑提供不同航季容量结论。

示例：其他空域用户活动情况比例计算方法示例：

$$P_1 = \frac{D_A}{365} * \frac{H_A}{H_R} \dots\dots\dots (2)$$

$$P_2 = 1 - P_1 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

P_1 ——其他空域用户活动占比；

D_A ——其他空域用户活动天数；

H_A ——机场正常运行小时数中的其他空域用户常态化活动小时数；

H_R ——机场全天正常运行小时数（一般不超过18小时）；

P_2 ——其他空域用户不活动占比。

6.5 基于管制员工作负荷的评估方法

6.5.1 概述

基于管制员工作负荷的评估方法，应采用模拟机练习管制工作负荷评估或管制录音工作负荷评估的方式。该方法应针对仿真运行场景（包括不同跑道运行方向和有其他空域用户活动场景）进行管制工作负荷验证工作。该方法适用于描述管制员工作负荷与航空器架次之间的相互作用关系。

6.5.2 评估要求

6.5.2.1 管制录音要求

调取的扇区录音数据应无电话语音或其他扇区的通讯干扰，并剔除掉明显异常的数据。

6.5.2.2 模拟机要求

6.5.2.2.1 模拟机设备要求

模拟机所采用的航空器类型、航空器性能和响应特性等参数应符合实际运行状况，模拟机界面和操作方法与实际基本一致，具备数据采集记录功能。

6.5.2.2.2 模拟机人员要求

模拟机人员包括管制员和模拟机机长，具体要求如下。

- a) 管制员要求。参加模拟机测试的管制人员，由管制单位指派，管制员应取得对应席位的管制资格，并代表管制单位平均业务水平。
- b) 模拟机机长要求。参与模拟机测试的模拟机机长应熟练掌握设备操作，熟悉评估空域和机型性能，掌握无线电通话用语，且每个管制席位配备的模拟机机长数量应与测试流量相匹配。

6.5.2.2.3 模拟机练习要求

模拟机练习要求包括环境设置、负荷级别设置、测试时间设置、航班计划确定。具体要求如下。

- a) 环境设置。模拟机练习的环境设置，应符合被评估对象的实际运行情况，主要包括进离场和飞越航班的比例，机型比例以及进出各移交点流量的比例等因素。
- b) 负荷级别设置。模拟机练习的负荷级别设置，应根据评估对象分别设置 2 至 3 个等级测试练习，并视测试结果进行调整。
- c) 测试时间设置。各模拟机练习测试时间应不少于 80 min，且高峰航班量应高于各场景仿真容量的 5%~10%。
- d) 航班计划确定。模拟机练习测试使用的航班计划应能反映评估对象航班流特征，并确保在模拟测试的时间段内有充足的飞行流量。

6.5.2.3 问卷填写要求

问卷填写人员应取得管制资格，且必须为该管制扇区工作的管制员或近期在该管制扇区工作过的管制员，填写人员能代表管制单位平均业务水平。

6.5.3 评估流程

通过对所选扇区空域结构、交通流特性进行分析，建立基于管制员工作负荷的评估模型，并基于该模型进行管制员工作负荷评估。具体评估流程应按照如下要求进行。

- a) 分析扇区特性。对扇区的空域结构数据和运行状态数据进行分析，其中空域结构数据包括航路结构及扇区进出点等数据，运行状态数据包括航班流分布及比例等数据。
- b) 采集航班流量数据。依据不同评估场景需要，获取相应场景的航班历史运行数据，对扇区流量进行分时段、分航段统计和分析。
- c) 采集扇区内管制工作负荷。采集与流量数据相匹配时段的管制工作负荷。
- d) 统计分析负荷和流量数据。对管制员工作负荷与航班流量进行分析，管制员工作负荷应满足可接受管制员工作负荷水平，即管制员小时平均工作负荷应当小于其满负荷的 70%，且达到满负荷的 90%以上的累积工作时间不超过每小时的 2.5%。

7 输出内容要求

7.1 基于历史统计数据的评估方法的输出内容要求

基于历史统计数据的评估方法的输出内容，应至少输出以下内容。

- a) 历史高峰服务起降架次。
- b) 历史高峰服务起飞架次。
- c) 历史高峰服务降落架次。

7.2 基于数学计算模型评估方法的输出内容要求

基于数学计算模型评估方法的输出内容，应至少输出以下内容。

- a) 不同跑道运行模式下的跑道容量（包括跑道最大起降架次、跑道最大起飞架次、跑道最大降落架次）。
- b) 航站楼值机、安检等关键设施理论容量。

7.3 基于计算机仿真模型评估方法的输出内容要求

基于计算机仿真模型评估方法的输出内容，应至少输出以下内容。

- a) 跑道起降架次统计。
- b) 不同评估场景下的日航班量与航班平均延误的分布。
- c) 不同评估场景下的机场放行正常率统计。
- d) 各评估场景综合分析容量值。

7.4 基于管制员工作负荷评估方法的输出内容要求

基于管制员工作负荷评估方法的输出内容，应至少输出以下内容。

- a) 管制扇区交通流特征。
- b) 不同评估场景下的航班流量与管制工作负荷的关系。

7.5 机场容量的确定要求

以计算机仿真模型评估结果为基准，结合历史高峰服务架次评估、数学计算模型评估及管制员工作负荷评估结果，综合考虑机场终端区/进近管制区现有运行环境和运行瓶颈，按照制约因素的短板效应，最终确定机场容量。

8 评估报告规范

容量评估报告内容应包括评估背景、评估依据、评估环境、技术路线、采用的评估方法及主要过程、评估结论、相关建议和有关附件。

容量评估报告应明确说明评估方法中关键参数的设置，以便于对评估结果进行复核，关键参数设置应符合表1的要求。

容量评估报告及相关评估技术资料数据应至少保存两年。

9 机场群容量评估要求

9.1 概述

机场群容量评估的目的是针对两个及以上机场（同属于一个终端（进近）管制区或相邻进近管制区）进行客观、科学地评估，以此作为航班时刻管理、机场运行和空中交通管理的基本依据，并对机场群容量确定提出合理化建议。

机场群容量评估需针对机场群各机场分别评估及联合运行评估，评估方法及流程除参考6.2至6.5规定要求外，还应满足9.2至9.4规定要求。

9.2 评估范围

机场群容量评估范围主要包括：机场群所在终端区/进近管制区和塔台管制区所包含的空域范围，以及各机场活动区和航站楼的机场范围。

9.3 机场群仿真航班量确定

根据机场群各机场航班量和分布特点以及及各机场功能定位，结合评估需求，确定具有代表性的各机场航班量组合比例。

9.4 机场群容量的确定

以计算机仿真模型评估结果为基准，结合历史高峰服务架次评估、数学计算模型评估及管制员工作负荷验证评估结果，综合考虑机场群终端区/进近管制区现有运行环境和运行瓶颈，最终确定机场群容量组合。

附 录 A
(规范性)
跑道容量数学模型

A.1 跑道容量基本计算公式

跑道容量定义为单位时间内跑道能服务的最大航空器架次。跑道容量一般用对所有类型的航空器服务时间的加权平均值表示。而跑道对航空器服务时间的长短受到到达、起飞航空器间隔时间的影响，因此需要对起飞、到达航空器时间间隔进行分析。

$$C = \frac{1}{E[h]} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$E[h] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} T_{ij} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

C ——跑道容量；

$E[h]$ ——跑道平均服务时间；

P_{ij} —— j 型航空器尾随 i 型航空器的概率；

T_{ij} ——当 j 型航空器尾随 i 型航空器时，它们之间的时间间隔。

A.2 单跑道容量计算

A.2.1 单跑道最大起降架次计算

A.2.1.1 单跑道混合使用的进场容量计算

根据不同机型的最后进近速度不同，把相邻进场航空器（ j 型航空器尾随 i 型航空器）先后进场的情况分为以下两种，分别计算它们的时间间隔：

a) $V_i > V_j$ ，即前机速度大于后机速度；

b) $V_i \leq V_j$ ，即前机速度小于等于后机速度。

当 $V_i > V_j$ 时，两机间的时间间隔为：

$$T_{ij} = \gamma \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) + \frac{\delta_{ij}}{V_j} + ROT_i \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

T_{ij} ——相邻进场航空器机型 j 与机型 i 的时间间隔；

γ ——最后进近定位点距跑道入口的距离；

V_j ——后机机型 j 的速度；

V_i ——前机机型 i 的速度；

δ_{ij} ——两架相邻进场航空器最小距离间隔；

ROT_i ——机型 i 的跑道平均占用时间。

当 $V_i \leq V_j$ 时，两机间的时间间隔：

$$T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + ROT_i \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

T_{ij} ——相邻进场航空器机型 j 与机型 i 的时间间隔。

之后，对于 p_{ij} ，统计机场各机型——轻型机、中型机、重型机所占比例，设值分别为 $a\%$ 、 $b\%$ 、 $c\%$ ，

其中：

$$a\% + b\% + c\% = 100\% \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

$a\%$ ——为轻型机所占比例；

$b\%$ ——为中型机所占比例；

$c\%$ ——为重型机所占比例。

设 p_{ij} 中前后机型 $i、j$ 分别对应机型所占比例为 $I\%、J\%$ ，则：

$$p_{ij} = I\% \times J\% \dots\dots\dots (A. 6)$$

将数值带入下式：

$$[T_{ij} + B_{ij}] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} (T_{ij} + B_{ij}) \dots\dots\dots (A. 7)$$

式中：

B_{ij} ——缓冲时间，为固定值；

p_{ij} ——两架连续到达的航空器，前机为 i ，后机为 j 的概率。

即得降落航空器时间间隔的加权平均值，所以：

$$C_{arrivals} = \frac{1}{E[T_{ij} + B_{ij}]} \dots\dots\dots (A. 8)$$

式中：

$C_{arrivals}$ ——跑道进场容量。

A. 2. 1. 2 单跑道混合使用的离场容量计算

机场实际运行中，管制员根据进场航空器是否满足进场和离场航空器之间的间隔，决定是否对离场航空器发布起飞许可，即进场航空器预计接地时刻与它前一架进场航空器接地时刻的时间差的大小决定是否允许当前申请起飞的航空器起飞。

当进场航空器满足进场和离场航空器之间的间隔时，管制员可根据这段时间间隔的大小，适当的在其中插入 n 架起飞航空器。这段时间间隔（两架相邻降落航空器间）必须满足：

$$E(T_{ij} + B_{ij}) \geq \tau_{min} + (n - 1)E(TD_i) + ROT_i \dots\dots\dots (A. 9)$$

式中：

τ_{min} ——起飞/到达航空器的间隔。该间隔为即将到达的航空器与将要放飞航空器提供足够的间隔，以保证他们间的空中间隔不会违反空管最小间隔规定。

TD_i ——机型 i 的起飞跑道占用时间。

即当 j 型航空器尾随 i 型航空器时，两机间时间间隔满足上式，可在其中插入 n_{i-j} 架起飞航空器。计算各种情况下相邻降落航空器对间可插入起飞航空器数量，可得下表：

表A. 1 可插入起飞航空器数量

前机	后机		
	轻型机	中型机	重型机
轻型机	n_{1-1}	n_{1-2}	n_{1-3}
中型机	n_{2-1}	n_{2-2}	n_{2-3}
重型机	n_{3-1}	n_{3-2}	n_{3-3}

再分别乘上 j 型航空器尾随 i 型航空器的概率和单位小时内间隔数量，可计算出进离场均衡时的跑道起飞航空器容量，算式如下：

$$C_{departures} = C_{arrivals} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} (n_{i-j}) \dots\dots\dots (A. 10)$$

式中：

$C_{departures}$ ——跑道离场容量；

n_{i-j} ——在相邻降落航空器 $i、j$ 之间可插入的起飞航空器数量。

A. 2. 2 单跑道最大起飞架次计算

不考虑降落航空器的影响，单跑道最大起飞架次计算公式为：

$$C_{departures} = \frac{1}{E[\max(T_{DD}, TD_i)]} \dots\dots\dots (A. 11)$$

式中：

T_{DD} ——航空器连续起飞最小时间间隔；

TD_i ——机型*i*的起飞跑道占用时间。

A. 2. 3 单跑道最大降落架次计算

单跑道最大降落架次计算方法与A. 2. 1. 1一致。

A. 3 双跑道容量计算

A. 3. 1 近距平行跑道容量计算

近距平行跑道容量计算方法和过程与单跑道容量计算过程一致，区别为在进、离场航空器管制规则约束中，不用考虑进场航空器跑道占用时间对离场航空器进入跑道时刻的限制。

A. 3. 2 相关进近模式下双跑道容量计算

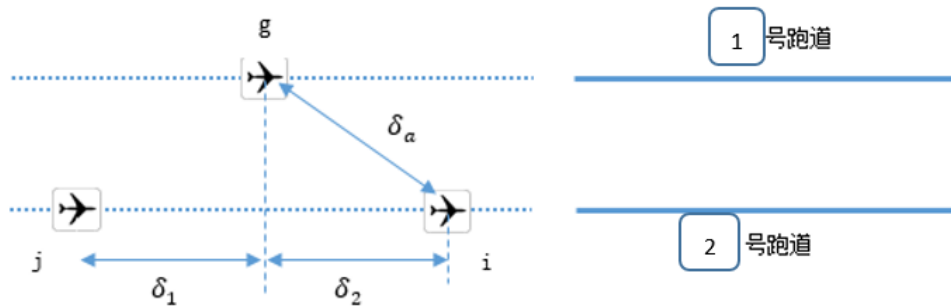
若1、2号平行跑道采用相关进近——独立离场运行模式时，则双跑道系统容量计算模型如下：
首先计算1号跑道的进、离场跑道容量，计算方法与A. 2相同，计算结果为：

$$C_1 = C_{arrivals} + C_{departures} \dots\dots\dots (A. 12)$$

式中：

C_1 ——1号跑道容量。

出于保证航行安全的需要，要求每架在跑道上降落的航空器都必须和相邻跑道上降落的其它航空器间保持一定间距，即平行跑道进近安全间隔（ δ_a ）。如图A. 1所示。



图A. 1 相关平行进近示意图

下面计算在平行跑道进近安全间隔下，2号跑道最小安全间隔。如图A. 1，假设有两架航空器*i*、*j*先后在2号跑道降落，与此同时，有航空器*g*在1号跑道降落，若*i*、*j*都和*g*保持相邻平行跑道进近安全间隔（ δ_a ）飞行，则此时*i*、*j*航空器的间隔为2号跑道进近最小安全间隔。由勾股定理易知，图中航空器*i*与航空器*j*之间的最小间距为：

$$l_{min} = 2\sqrt{(\delta_a)^2 - D^2} \dots\dots\dots (A. 13)$$

式中：

l_{min} ——满足相邻跑道侧向间隔下的连续进近航空器间隔，用距离表示。

为方便计算，可将其化为时间参数，则：

$$t_{min} = \frac{l_{min}}{V} \dots\dots\dots (A. 14)$$

式中：

t_{min} ——满足相邻跑道侧向间隔的连续进近航空器间隔，用时间表示；

V ——进近航空器的平均速度。

管制员可采用插入法在航空器*i*与航空器*j*之间安排在相邻平行跑道上降落的航空器，要求航空器*i*与航空器*j*之间的时间间隔必须满足下式：

$$T_{ij} + B_{ij} \geq t_{min} \dots\dots\dots (A. 15)$$

计算各种情况下相邻降落航空器对间于相邻平行跑道可插入降落航空器数量，可得下表：

表A.2 相关进近 2 号跑道可插入降落航空器数量

前机	后机		
	轻型机	中型机	中型机
轻型机	m_{1-1}	m_{1-2}	m_{1-3}
中型机	m_{2-1}	m_{2-2}	m_{2-3}
重型机	m_{3-1}	m_{3-2}	m_{3-3}

将可插入航空器数量 m 再分别乘上 j 型航空器尾随 i 型航空器的概率和单位小时内间隙数量，可计算出在相关平行进近模式下2号跑道进场容量，算式如下：

$$C'_{arrivals} = C_{arrivals} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}(m_{ij}) \dots \dots \dots (A. 16)$$

式中：

$C'_{arrivals}$ ——2号跑道进场容量；

m_{ij} ——航空器 i 和 j 之间可插入的航空器数量。

接下来计算2号跑道离场容量，管制员对2号跑道上的离场航空器在进场航空器的时间间隙内发布起飞许可。考虑到进场航空器跑道占用时间，计算时间间隙算式如下：

$$E[T_{ij} + B_{ij}] \geq E\left(\frac{\delta_{ij}}{v_j}\right) + E(ROT_i) + (n-1)E(\varepsilon_{ij}) + E(\tau_{min}) \dots \dots \dots (A. 17)$$

式中：

δ_{ij} ——两架相邻进场航空器最小距离间隔；

ROT_i ——机型 i 的跑道平均占用时间；

ε_{ij} ——相邻起飞航空器间时间间隔；

τ_{min} ——起飞/到达航空器的间隔。该间隔为即将到达的航空器与将要放飞航空器提供足够的间隔，以保证他们间的空中间隔不会违反空管最小间隔规定。

计算各种情况下相邻降落航空器对间可插入起飞航空器数量，可得下表：

表A.3 相关进近 2 号跑道可插入起飞航空器数量

前机	后机		
	轻型机	中型机	中型机
轻型机	n'_{1-1}	n'_{1-2}	n'_{1-3}
中型机	n'_{2-1}	n'_{2-2}	n'_{2-3}
重型机	n'_{3-1}	n'_{3-2}	n'_{3-3}

再分别乘上 j 型航空器尾随 i 型航空器的概率和单位小时内间隙数量，可计算出进离场均衡时的跑道离场容量，算式如下：

$$C'_{departures} = C_{arrivals} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}(n_{ij}) \dots \dots \dots (A. 18)$$

式中：

$C'_{departures}$ ——2号跑道离场容量。

所以2号跑道的跑道容量：

$$C_2 = C'_{arrivals} + C'_{departures} \dots \dots \dots (A. 19)$$

式中：

C_2 ——2号跑道容量。

则平行双跑道在采用相关进近——独立离场运行模式下，跑道容量为：

$$C = C_1 + C_2 \dots \dots \dots (A. 20)$$

A.3.3 独立运行模式下双跑道容量计算

若1、2号平行跑道采用独立进场——独立离场运行模式时，则双跑道系统容量计算模型如下：

首先计算1号跑道的进、离场跑道容量，计算方法与第1节相同，则计算结果为：

$$C_1 = C_{arrivals} + C_{departures} \dots \dots \dots (A. 21)$$

式中：

C_1 ——1号跑道容量。

在独立进场-独立离场的运行模式下，1、2号跑道间间距足以保证双跑道系统的安全起降，所以2号跑道起降架次与于1号跑道起降架次相同。

则平行双跑道在采用独立进近-独立离场运行模式下，跑道容量为：

$$C = 2C_1 \dots\dots\dots (A. 22)$$

式中：

C ——平行双跑道容量。

A. 4 三跑道容量计算

三条跑道构型为两条窄距平行跑道和一条宽距跑道。

将三条跑道依次编号为1、2、3号，1、2号跑道为窄距平行跑道，3号跑道与1、2号跑道为宽距平行跑道。首先判断3号跑道与1、2跑道的运行模式，然后根据第2节的计算方法计算跑道容量。

A. 4. 1 相关进近模式下3号跑道容量计算

若3号跑道与1、2号双窄距平行跑道采用相关进近-独立离场运行模式时，将1、2号双窄距平行跑道视为单跑道，按照第2节的计算方法计算3号跑道的容量，然后根据1、2号窄距平行跑道进场容量计算1、2号跑道的离场容量，三条跑道容量为1、2、3跑道容量之和。

A. 4. 2 独立进近模式下3号跑道容量计算

当3号跑道与1、2号双窄距平行跑道采用独立进近-独立离场运行模式时，首先根据第1节的计算方法计算3号跑道单跑道容量，然后根据第2节的计算方法计算1、2号跑道窄距平行跑道容量，三条跑道容量为1、2、3跑道容量之和。

附录 B
(规范性)
航站楼容量评估数学模型

B.1 值机理论容量评估方法及模型

值机理论容量与旅客到达人数关系密切，到达值机大厅的旅客与航班时刻表、航班旅客数有关。任意时刻的旅客到达数是各航班该时刻旅客到达数的总和。考虑到旅客到达服从参数 $\lambda(\lambda > 0)$ 的Poisson流分布，即相继到达的间隔时间序列 $\{\tau_n, n \geq 1\}$ 独立、服从相同参数 λ 的负指数分布 $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, t \geq 0$ ；旅客所需的服务时间序列 $\{X_n, n \geq 1\}$ 独立、服从相同参数 $u(u > 0)$ $\mu(\mu > 0)$ 的负指数分布 $G(t) = 1 - e^{-ut}, t \geq 0$ ；系统中有 k 个值机柜台独立并行服务，每个值机柜台视为一个独立的 $M/M/1/\infty$ 排队系统，各值机柜台前的旅客相继到达间隔时间和服务时间是相互独立的。通过计算单位时间值机系统可以服务的人数，结合航空器平均载客量，可以得到值机系统约束下的容量。

根据MH/T 5104《民用运输机场服务质量》值机系统服务能力限制，并根据该数据对容量计算值机进行筛选。

根据 $M/M/1/\infty$ 排队系统公式，如果旅客到达率为 λ 人每分钟，每值机柜台平均服务率为 u_i 人每分钟，开放值机柜台数是 k_a ，则单位时间值机系统的最大容量，即等于单位时间值机系统服务的最大旅客人数，如下所示：

$$C_{\text{值机}} = \sum_{a=1}^2 k_a \left(u_i - \frac{1}{w_a} \right) \dots \dots \dots (B.1)$$

式中：

$C_{\text{值机}}$ ——单位时间值机系统的最大容量，即单位时间值机系统服务的最大离场旅客人数；

k_a ——开放值机柜台数，当 $a = 1$ 时，表示人工值机柜台数；当 $a = 2$ 时，表示自助值机柜台数；

u_i ——表示柜台平均服务率，当 $i = 1$ ，表示人工值机柜台平均服务率；当 $i = 2$ ，表示自助值机柜台平均服务率；

w_a ——95%旅客的最大等候值机时间。

根据单位时间值机系统的最大容量 C 、航班平均座位数 S 和航班平均上座率 r ，可以得出单位时间最大离场航班架次数 N ，公式如下所示：

$$N = \frac{C_{\text{值机}}}{S \cdot r} \dots \dots \dots (B.2)$$

式中：

S ——航班平均座位数；

r ——航班平均上座率。

B.2 安检理论容量评估方法及模型

安检理论容量与旅客到达人数关系密切。在安检区域，旅客到达的时间间隔为参数 $\lambda(\lambda > 0)$ 的Poisson流分布，即相继到达的间隔时间序列 $\{\tau_n, n \geq 1\}$ 独立、服从相同参数 λ 的负指数分布 $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, t \geq 0$ ；旅客所需的服务时间序列 $\{X_n, n \geq 1\}$ 独立、服从相同参数 $\mu(\mu > 0)$ 的负指数分布 $G(t) = 1 - e^{-\mu t}, t \geq 0$ ；系统中有 k 个安检通道独立地并行服务，每个安检通道视为一个独立的 $M/M/1/\infty$ 排队系统。通过计算单位时间安检系统可以服务的人数，结合航空器平均载客量，可以得到安检系统约束下的容量。

根据MH/T 5104《民用运输机场服务质量》安检系统服务能力限制，并根据该数据对容量计算值机进行筛选。

根据 $M/M/1/\infty$ 排队系统公式，如果旅客到达率为 λ 人每分钟，每通道安检服务率为 u_j 人每分钟，开放安检通道数是 k_b ，则单位时间安检系统的最大容量，即等于单位时间安检系统服务的最大旅客人数，如下所示：

$$C_{\text{安检}} = \sum_{b=1}^2 k_b \left(\sum_{j=1}^2 \rho_j u_j - \frac{1}{w_b} \right) \dots \dots \dots (B.3)$$

式中：

$C_{\text{安检}}$ ——单位时间安检系统的最大容量，即单位时间安检系统服务的最大离场旅客人数；

k_b ——开放安检通道数，当 $b = 1$ 时，表示普通安检通道数；当 $b = 2$ 时，表示VIP安检通道数；

ρ_j ——表示选择安检通道类型的旅客比例，当 $j = 1$ ，表示选择普通安检通道的旅客比例；当 $j = 2$ ，表示选择VIP安检通道的旅客比例；

u_j ——表示安检通道平均服务率，当 $j = 1$ ，表示普通安检通道平均服务率；当 $j = 2$ ，表示VIP安检通道平均服务率；

W_b ——95%旅客的最大等候安检时间。

根据单位时间安检系统的最大容量 $C_{\text{安检}}$ 、航班平均座位数 S 和航班平均上座率 r 可以得出单位时间最大航班架次数 N 公式如下所示：

$$N = \frac{C_{\text{安检}}}{S * r} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

S ——航班平均座位数；

r ——航班平均上座率。

B.3 行李提取转盘理论容量评估方法及模型

行李提取转盘容量与到达旅客所携带的行李关系密切。行李到达与航班时刻表、航班旅客数有关。任意时刻的行李到达数是各航班该时刻行李到达数的总和。各航班行李到达和服务是相互独立的。通过结合行李提取转盘系统的服务时间、航班平均载客量、开放行李转盘数，可以得到行李提取转盘系统约束下的容量。

根据MH/T 5104《民用运输机场服务质量》行李提取转盘系统服务能力限制，并根据该数据对容量计算值进行筛选。

根据动态系统公式，从挡轮挡到第一件行李出现在行李转盘上的时间 T_{ij} ，从第一件行李出现在行李转盘上到全部被取走的时间 T ，开放行李提取转盘的数量 k ，则单位时间行李提取转盘系统的最大容量，即等于单位时间行李提取转盘系统服务的高峰小时进场航班架次，如下所示：

$$N = k \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^m P_j \sum_{i=1}^2 P_i T_{ij} + \alpha T} \right) \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

N ：单位时间行李提取转盘系统的最大进场容量，即单位时间行李提取转盘系统服务的高峰小时进场航班架次；

k ：开放行李提取转盘的数量；

P_j ：机型比例， $j = 1, 2, \dots, m$ ，通常 $m \leq 6$ ；

P_i ：航空器选择停靠在机位位置的比例，当 $i = 1$ 时，表示航空器停靠近机位，当 $i = 2$ 时，表示航空器停靠近远机位；

T_{ij} ：表示 j 机型的航空器停靠 i 类型机位时，从挡轮挡到第一件行李出现在转盘上的时间；

α ：行李在规定时间内全部被取走的概率，通常取值99%；

T ：从第一件行李出现在行李转盘上到全部被取走的时间。

附录 C (规范性) 航站楼计算机仿真评估

C.1 确定航站楼仿真场景

仿真评估目的是检验典型繁忙航班计划日航站楼服务质量达标的状况；测试关键设施持续性服务能力对整个流程服务质量的影响；检验机场航班增量后，航站楼服务能否满足质量要求。航站楼中的关键资源均列入仿真评估对象，其中，主线业务包括国际/国内旅客的出发/到达流程；分支业务包括值机、安检、边检、登机口、行李提取等。

C.2 确定仿真系统输入

表C.1为仿真系统输入建议参数。

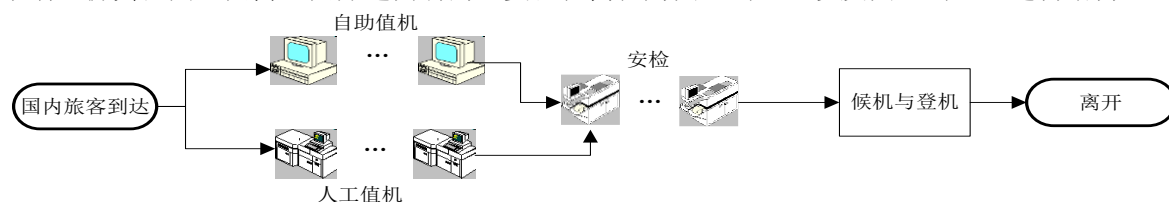
表C.1 航站楼计算机仿真的输入建议参数

输入项	参数说明
航站楼平面图	包含航站楼出发和到达层、国内与国际客运
值机柜台分配计划	人工值机柜台、自助值机柜台数量及各航空公司或代理商值机柜台分配原则
行李转盘的分配计划	行李转盘数量及指派原则
安检与边检通道类型和数量	国内国际安检旅客通道类型和数量及边检旅客通道类型和数量
典型繁忙日进/离场航班计划	根据典型繁忙日确定方法确定的日期对应的进/离场航班计划
典型繁忙日进场航班行李转盘指派计划	典型繁忙日对应进场航班计划所需行李转盘的指派计划
进/离场客机航班架次	航班计划中进离场客运航班起降架次
典型繁忙日进/离场、国际/国内旅客总数	典型繁忙日对应的航班计划中日国内出港/抵港旅客数、日国际出港/抵港旅客数
典型繁忙日各航班客座率	典型繁忙日对应的航班计划中各航班旅客数与该航班满载客数的比值
人工/自助值机旅客服务率	单位时间内人工/自助值机服务的旅客数量
离场航班旅客到达值机柜台的分布	离场航班旅客到达值机柜台的时间所呈现出的分布特点
国内/国际值机平均服务率和方差	单位时间内国内/国际值机服务的平均旅客数以及方差
国内/国际安检柜台数量/平均服务率和方差	国内/国际安检柜台开放数量、单位时间内国内/国际安检柜台服务的平均旅客数以及方差
进/离场边检柜台数量/平均服务率和方差	进/离场边检柜台开放数量、单位时间内进/离场边检柜台服务的平均旅客数以及方差
登机口平均服务率和方差	单位时间内登机口服务的平均航班架次数以及方差

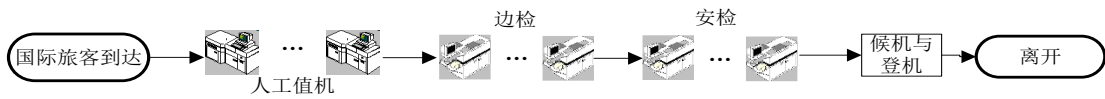
C.3 航站楼旅客流程仿真建模

C.3.1 主业务逻辑结构模型

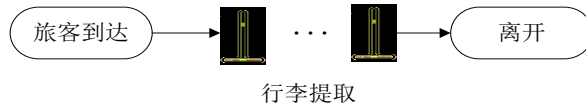
旅客进离场流程中国内主要业务逻辑涉及值机、安检、候机、登机，下航空器、提取行李、出候机楼；国际主要业务逻辑涉及值机、检验检疫、海关、边检、安检、候机、登机，下航空器、边检、提取行李、海关、检验检疫、出候机楼。其中检验检疫和海关业务为抽样检查模式。因此，在计算机仿真中可以不纳入仿真范围。国内、国际进离场的主要流程简化为图C.1和C.2以及图C.3和C.4逻辑结构。



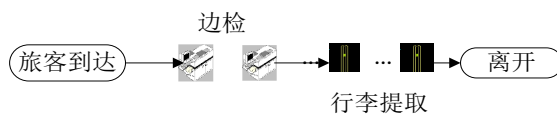
图C.1 国内离场旅客业务流程逻辑图



图C.2 国际离场旅客业务流程逻辑图



图C.3 国内进场旅客业务流程逻辑图



图C.4 国际进场旅客业务流程逻辑图

C.3.2 各分支业务逻辑结构模型

人工值机逻辑模型可采用图C.5结构单元和逻辑进行设计。图C.6~C.9分别表示边检、安检、登机口和行李提取业务逻辑模型。



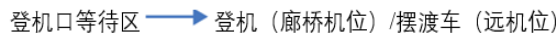
图C.5 人工值机逻辑模型



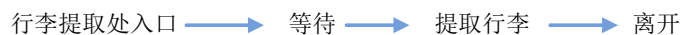
图C.6 边检业务逻辑模型



图C.7 安检业务逻辑模型



图C.8 登机口业务逻辑模型



图C.9 行李提取业务逻辑模型

C.4 仿真系统校验

仿真系统应经过典型繁忙日总人数、航班人数、旅客个体行走路线、航班指派的登机门或行李转盘等的符合性校验。通过调整离散度使仿真旅客人数基本一致。

C.5 仿真的实施与分析

C.5.1 国际/国内进离场旅客到达分布输出分析

通过仿真系统输出航站楼旅客到达分布信息,能够获得全天航站楼旅客流态,得到全天的峰谷数据。进离场旅客按独立流程应分为国内出发、国际出发、国内到达、国际到达。

C.5.2 国际/国内值机区仿真分析

输出各航空公司值机区旅客排队人数分布和排队时间分布,对比MH/T 5104《民用运输机场服务质量》中有关值机服务的条款,得出在典型繁忙日旅客流态下,航站楼值机区服务质量达标与否的结论。

C.5.3 国际/国内安检区仿真分析

输出各安检区旅客排队人数分布和排队时间分布,对比MH/T 5104《民用运输机场服务质量》中有关安全检查服务的条款,得出在典型繁忙日旅客流态下,航站楼国际/国内安检服务质量达标与否的结论。

C.5.4 出发/到达边检区仿真分析

输出各出发/到达边检区旅客排队人数分布和排队时间分布,对比MH/T 5104《民用运输机场服务质量》中有关边检服务的条款,得出在典型繁忙日旅客流态下,航站楼国际边检服务质量达标与否的结论。

C.5.5 登机口仿真分析

输出各桥位和远机位登机口全天各时段使用量分布,对比国内/国际登机口可用数量与最大需求量比例,得出在典型繁忙日旅客流态下,国内/国际登机口满足国内/国际航班保障需求与否的结论。

C.5.6 国际/国内行李提取仿真分析

输出各行李提取转盘区旅客人数分布,计算出各认领区最大等候旅客人数与周围面积比例(人均最小面积),参照MH/T 5104《民用运输机场服务质量》中有关行李提取服务的条款,得出在典型繁忙日旅客流态下,各行李提取区旅客服务质量达标与否的结论。

如果上述各分支流程出现服务质量达不到标准的情况,说明该流程的设备设施不能满足典型繁忙日旅客流态下的服务质量,出现资源短缺情况。

C.6 仿真系统调压分析

在上述各分支流程服务质量达标的基础上,通过提升客座率和仿真空侧增、减量计划,获得航站楼资源是否满足航班量调整要求的结论。

保持仿真系统其它参数不变,将典型繁忙日航班计划变更为增量计划,重复3,检验流程中各业务区服务质量。

C.7 仿真结果与建议

总结分析说明评估对象在典型繁忙日航班平均客座率以及增加航班量两种不同条件下,航站楼旅客服务达到公布服务标准的状况,并提出改进建议。

参 考 文 献

- [1] MH/T 5104 民用运输机场服务质量
 - [2] ICAO DOC 9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management
 - [3] CCAR-93TM 民用航空空中交通管理规则
 - [4] CCAR-98TM 平行跑道同时仪表运行管理规定
 - [5] 交通运输部令2016年56号 航班正常管理规定
 - [6] 民航发〔2012〕88号 民航航班正常统计办法
 - [7] 民航发〔2018〕1号 民航航班时刻管理办法
-